



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

Mã ISBN: 978-604-67-2296-0



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

ACEA-VIETGEO 2021

BAN TỔ CHỨC

PGS.TS. Nguyễn Vũ Phương	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Đồng Trưởng ban</i>
PGS.TS. Tạ Đức Thịnh	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Đồng Trưởng ban</i>
GS.TS. Trần Thanh Hải	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Phó Trưởng ban</i>
TS. Phan Văn Huệ	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
PGS.TS. Lê Minh Phương	Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP HCM	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Duy Việt	Trường Đại học Giao thông Vận tải	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Xuân Thảo	Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Văn Lâm	Hội Địa chất thủy văn Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Lê Đàm Ngọc Tú	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>

BAN KHOA HỌC

GS.TSKH. Phạm Văn Ty	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Trưởng ban</i>
TS. Phạm Ngọc Tiến	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
PGS.TS. Nguyễn Văn Lâm	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Huy Phương	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Đỗ Minh Đức	Trường Đại học Khoa học tự nhiên - ĐHQGHN	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Thị Nụ	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Văn Hải	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thành Sơn	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Văn Phóng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Đức Thọ	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Công Định	Trường Đại học Giao thông Vận tải	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Bách Thảo	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Văn Hùng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Vũ Minh Ngạn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Hoàng Đình Phúc	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>

BAN THƯ KÝ

TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Trưởng ban</i>
TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
ThS. Ngô Đình Thành	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Thị Việt Nga	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
ThS. Phạm Thị Ngọc Hà	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
ThS. Nguyễn Văn Hùng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
ACEA - VIETGEO 2021

PHÚ YÊN, VIỆT NAM
13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ
XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

Ban biên tập:

TẠ ĐỨC THỊNH
BÙI TRƯỜNG SƠN
NGUYỄN VĂN LÂM
NGUYỄN THÀNH DƯƠNG
NGUYỄN THANH DANH
NGUYỄN VĂN HÙNG

ACEA - VIETGEO 2021

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

PHÚ YÊN, VIỆT NAM
13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam
Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
Trường Đại học Mở - Địa chất
Trường Đại học Giao thông Vận tải
Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP HCM
Công ty TNHH Thế giới Kỹ thuật

ĐƠN VỊ ĐỒNG HÀNH

Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
Trường Đại học Mở - Địa chất
Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP HCM
Trường Đại học Giao thông Vận tải
Công ty TNHH Thế giới Kỹ thuật
Công ty Cổ phần Đầu tư và Phát triển GMC
Công ty Cổ phần khảo sát thiết kế xây dựng Đất Việt
Công ty TNHH Nam Miền Trung
Công ty Cổ phần Khoa học Công nghệ Bách khoa TP Hồ Chí Minh

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH KHI THI CÔNG HÀM METRO TRONG ĐẤT YẾU Ở MỘT SỐ THÀNH PHỐ CỦA VIỆT NAM

Vũ Minh Ngạn^{1,*}, Nguyễn Văn Luyến²
Phạm Đức Thọ¹, Đặng Trung Thành¹, Đào Thị Uyên¹

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất

² Tổng Công ty Đầu tư phát triển hạ tầng đô thị UDIC

Tóm tắt

Bùng nổ kinh tế và gia tăng dân số nhanh tại các thành phố lớn của Việt Nam như Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh dẫn đến các vấn đề về tắc nghẽn giao thông và ô nhiễm môi trường do khói bụi và tiếng ồn, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe, cuộc sống của người dân. Ngoài ra, do diện tích đất bề mặt tại các thành phố ngày càng hạn chế và giá đất ngày càng tăng, việc phát triển các công trình hạ tầng trở nên khó khăn và tốn kém. Xây dựng các công trình hầm metro vì thế trở thành giải pháp tất yếu cho các vấn đề giao thông đô thị hiện nay. Việc thi công hầm metro tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh đối mặt với nhiều khó khăn và thách thức do điều kiện địa chất đất yếu và nằm dưới nhiều công trình lịch sử quan trọng. Vấn đề về ổn định khi thi công hầm metro đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu các ảnh hưởng tới các công trình lân cận, khả năng gây lún sụt hoặc đẩy trôi. Bài báo đưa ra phân tích về vấn đề ổn định khi thi công hầm trong điều kiện địa chất ở Việt Nam, bao gồm các vấn đề mất ổn định sụt lún do áp lực dung dịch tại gương đào thấp, vấn đề đẩy trôi khi áp lực dung dịch tại gương đào quá cao. Kết quả phân tích trong bài báo là cơ sở để các nhà thiết kế tham khảo khi tính toán ổn định cho các dự án hầm metro sắp tới tại Việt Nam.

Từ khóa: Thi công hầm, ổn định, đất yếu

1. Đặt vấn đề

Nền kinh tế Việt Nam phát triển nhanh dẫn đến dân cư tập trung đông tại hai thành phố là Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Điều này dẫn đến các vấn đề về tắc nghẽn giao thông và ô nhiễm môi trường do khói bụi và tiếng ồn, gây ảnh hưởng đến cuộc sống của người dân và thiệt hại về kinh tế. Hơn nữa, diện tích đất bề mặt tại các thành phố ngày càng hạn chế và giá đất ngày càng tăng, đầu tư xây dựng và mở rộng các công trình hạ tầng giao thông trở nên khó khăn và tốn kém. Xây dựng các công trình hầm metro tại hai thành phố này vì thế trở thành một giải pháp tất yếu cho các vấn đề giao thông đô thị. Tuy nhiên, thi công hầm metro tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh phải đối mặt với nhiều khó khăn và thách thức do điều kiện địa chất đất yếu, nằm dưới và lân cận nhiều công trình lịch sử quan trọng của đất nước. Do đó, thiết kế đảm bảo quá trình thi công hầm ổn định đóng vai trò hết sức quan trọng trong các dự án nhằm giảm khả năng gây lún sụt hoặc đẩy trôi đất trên bề mặt và giảm thiểu ảnh hưởng tới các công trình lân cận.

Bài báo trình bày các phân tích và mô hình tính toán về ổn định khi thi công hầm trong điều kiện địa chất ở Việt Nam bao gồm các vấn đề về sụt lún bề mặt, mất ổn định nền đất do áp lực dung dịch tại gương đào thấp, vấn đề đẩy trôi khi áp lực dung dịch tại gương đào quá cao. Bài báo cũng đưa ra các phân tích tính toán cho thi công hầm tại tuyến metro số 1 TP Hồ Chí Minh

* Ngày nhận bài: 20/02/2022; Ngày phản biện: 30/3/2022; Ngày chấp nhận đăng: 10/4/2022

* Tác giả liên hệ: Email: vuminhngan@humg.edu.vn

và so sánh với các số liệu thực tế thi công hầm. Các phân tích cho tuyến metro số 3 Hà Nội cũng được thực hiện. Kết quả phân tích là cơ sở để các nhà thiết kế tham khảo khi tính toán ổn định cho các dự án hầm metro sắp tới tại Việt Nam.

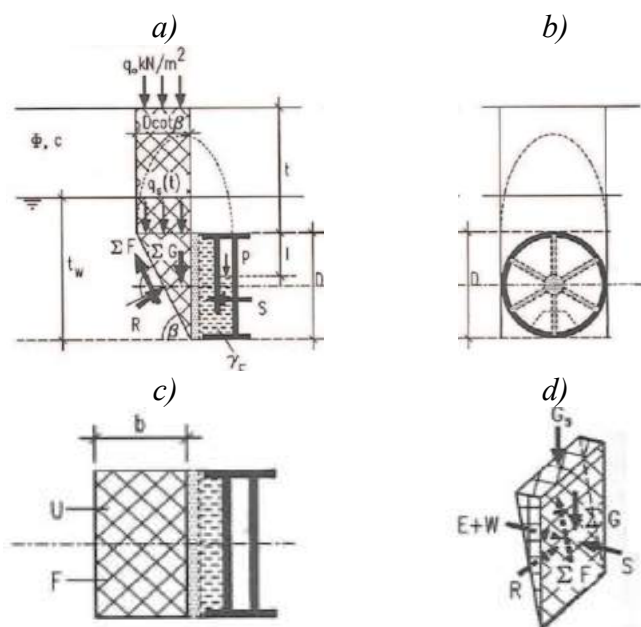
2. Cơ sở lý thuyết phân tích ổn định thi công hầm

Trên thế giới, nghiên cứu sự ổn định của nền đất xung quanh máy đào hầm khi thi công hầm trong điều kiện đất yếu tại các thành phố lớn đã được tiến hành từ thập niên 60 của thế kỷ 20 bởi nhiều nhóm tác giả như Horn (1961), Balthaus (1991), Anagnostou và Kovári (1994), Jancsecz và Steiner (1994), Broere (2001) và Vu et al. (2016). Hiện nay có nhiều phương pháp và mô hình để phân tích ổn định quá trình thi công hầm được đề xuất và sử dụng trong nghiên cứu và thiết kế hầm. Các mô hình phân tích và tính toán ổn định có thể được chia thành ba loại bao gồm các mô hình phân tích lý thuyết, phân tích mô phỏng số, các mô hình phân tích thực nghiệm và bán thực nghiệm. Các nghiên cứu đã chỉ ra vùng đất xung quanh hầm có thể mất ổn định theo hai cơ chế bao gồm mất ổn định do lượng đất lớn chuyển dịch vào phía trong buồng đào của máy đào hầm khi sử dụng áp lực dung dịch tại gương đào quá thấp và mất ổn định khi khối đất phía trên đường hầm bị đẩy trôi lên bề mặt khi sử dụng áp lực dung dịch quá cao tại gương đào. Để đảm bảo ổn định của môi trường đất xung quanh trong quá trình thi công hầm thì áp lực dung dịch sử dụng tại gương đào cần nằm trong giới hạn hai giá trị này.

Trong bài báo này, ổn định của môi trường đất xung quanh đường hầm được phân tích theo giới hạn dưới và giới hạn trên tương ứng theo hai cơ chế mất ổn định. Theo đó, tác giả xác định được áp lực dung dịch nhỏ nhất và lớn nhất sử dụng tại mặt gương đào.

2.1. Phân tích ổn định theo giới hạn dưới

Điều kiện để tính toán áp lực gương đào nhỏ nhất là khi áp lực dung dịch sử dụng tại bề mặt gương đào của máy đào hầm thấp, không đủ chống đỡ áp lực phía trước gương đào bao gồm áp lực đất, áp lực nước, đất xung quanh có xu hướng dịch chuyển vào buồng đào và gây sụt lún lớn ở phía trên bề mặt, gây tác động đến các công trình phía trên.



Hình 1. Mô hình phân tích ổn định gương đào máy đào hầm TBM
(Jancsecz, S., & Steiner, W., 1994)

a) Theo phương dọc hầm ; b) Tại mặt gương đào; c) Mặt bằng, d) Các lực tại mặt trượt

Trong thiết kế hầm, để tính toán áp lực dung dịch nhỏ nhất, hiện nay thường dùng đến các mô hình phân tích của Jancsecz and Steiner (1994) như trên hình 1 và mô hình đề xuất bởi Broere (2001) cho trường hợp nền đất nhiều lớp.

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng các mô hình phân tích đó để tính toán ổn định cho hầm metro thi công trong điều kiện đất yếu tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Theo đó, áp lực dung dịch nhỏ nhất được xác định theo công thức sau:

$$s_{min} = \sigma'_v K_{A3D} \eta_{eff} + p \quad (1)$$

Với $\eta_{eff} = 1.5$ là hệ số an toàn và p là áp lực nước.

Hệ số K_{A3D} là hệ số áp lực đất ba chiều được xác định theo công thức:

$$K_{A3D} = \frac{\sin\beta\cos\beta - \cos^2\beta\tan\varphi - \frac{K\alpha}{1.5}\cos\beta\tan\varphi}{\sin\beta\cos\beta + \tan\varphi\sin\beta} \quad (2)$$

Trong đó hệ số β được xác định theo các biểu đồ tính toán trong Jancsecz, S., & Steiner, W. (1994).

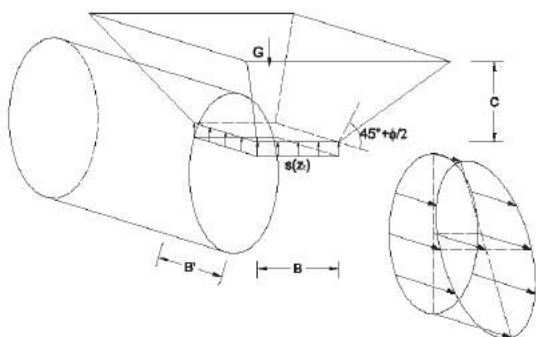
Áp lực đất hiệu dụng phía trước gương đào được xác định theo công thức trong Broere (2001) như sau:

$$\sigma'_{v,a} = \frac{a\gamma' - c'}{K\tan\varphi'} \left(1 - e^{-K\tan\varphi' \frac{z}{a}}\right) + q_0 e^{-K\tan\varphi' \frac{z}{a}} \quad (3)$$

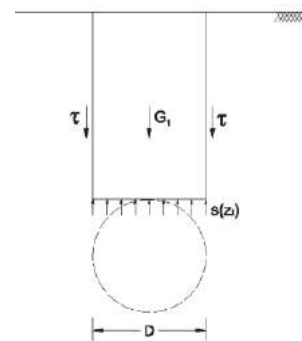
2.2. Phân tích ổn định theo giới hạn trên

Giới hạn trên phân tích ổn định của thi công hầm thường được xác định theo điều kiện đẩy trôi. Hiện tượng đẩy trôi xảy ra khi sử dụng áp lực tại gương đào quá lớn dẫn đến khối đất phía trên hầm bị đẩy lên trên mặt đất, lúc này dung dịch duy trì ổn định tại mặt gương đào sẽ thoát ra, dẫn đến mất áp lực đột ngột và gây mất ổn định mặt gương đào (Vũ Minh Ngạn, 2019). Hậu quả khi xảy ra hiện tượng đẩy trôi là có thể gây ra sụt lún lớn trên bề mặt, gây tạm dừng quá trình thi công và gây nguy hiểm cho nhân công đang vận hành máy TBM hoặc các công trình lân cận.

Áp lực dung dịch lớn nhất tại mặt gương đào thường được xác định dựa theo điều kiện này. Hiện nay, các mô hình tính toán được sử dụng phổ biến trong thiết kế hầm là các mô hình của Balthaus (1991) và Broere (2001).



Hình 2. Mô hình tính toán đẩy trôi của Balthaus (Balthaus, 1991)



Hình 3. Mô hình tính toán đẩy trôi của Broere (Broere, 2001)

Hình 2 mô tả mô hình phân tích giới hạn trên do Balthaus (1991) đề xuất. Khối đất bị đẩy trôi được tính toán có dạng khối chóp cụt với góc nghiêng bằng $45^\circ + \varphi/2$ trong đó φ là góc ma sát của đất. Từ tính toán trạng thái cân bằng giữa trọng lượng của khối đất G , lực chống S , ta có thể xác định áp lực chống tối hạn đẩy trôi. Các hệ số an toàn cho tính toán đẩy trôi được xác

định theo công thức:

$$\eta = \frac{G}{S} > \eta_1 = \frac{\gamma C \left(B' + C \cot \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right)}{B' s(z_t)} > \eta_2 = \frac{\gamma C}{s(z_t)} \quad (4)$$

Trong đó, C là chiều sâu tầng đất phủ, γ là khối lượng riêng của đất và s là áp lực dung dịch tại mặt gương đào.

Hình 3 mô tả mô hình phân tích hiện tượng đẩy trôi được đề xuất bởi Broere (2001). Khi khối đất phía trên hầm bị đẩy lên khi đẩy trôi xảy ra, giữa khối đất và lớp đất đá xung quanh tồn tại lực cắt. Mô hình của Broere (2001) đã kể đến lực cắt này. Từ điều kiện cân bằng của khối đất, tổng lực chống bằng tổng của trọng lượng khối đất và lực ma sát hai bên khối đất. Áp lực chống lớn nhất khi thi công hầm trong đất được xác định như sau:

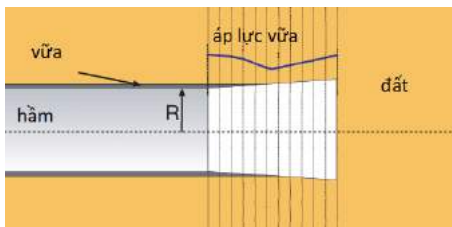
$$s_{max} = C \left[\gamma + \frac{2c + CK\gamma \tan \varphi}{D} \right] \quad (5)$$

Trong đó, c là độ cố kết của đất, K là hệ số của áp lực ngang.

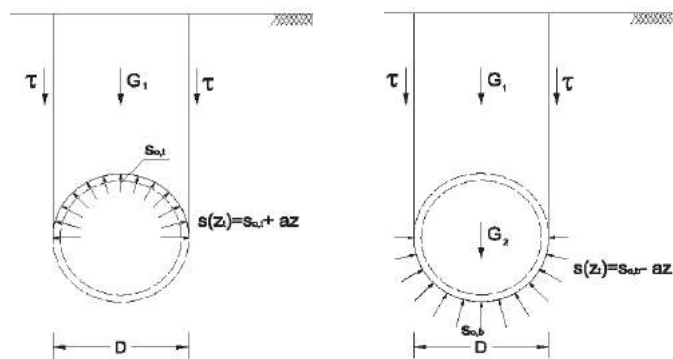
Tác giả Vũ Minh Ngạn và nnk (2015) đề xuất một mô hình phân tích hiện tượng đẩy trôi và so sánh kết quả tính toán với mô hình của Balhaus (1991) và Broere (2001). Kết quả phân tích từ mô hình này phù hợp số liệu đo đạc từ 3 thí nghiệm và 1 trường hợp xảy ra trong thực tế tại hầm Second Heineenoord, Rotterdam (Vũ Minh Ngạn và nnk, 2016).

Các nghiên cứu của Talmon và Bezuijen (2005) về các vấn đề xung quanh máy TBM khi thi công hầm trong đất cho thấy áp lực vữa giảm dần ngay sau máy đào hầm và quanh chu vi của máy đào hầm do vữa dịch chuyển vào các khoảng trống giữa máy và đất xung quanh. Lớp vữa bao quanh hầm được coi là chất lỏng Bingham có tính nhớt và ứng suất biến dạng. Chất lỏng này có xu hướng chuyển dịch theo phương thẳng đứng xuống dưới khi được bơm vào từ các đầu bơm trên máy TBM. Các dòng dịch chuyển này tạo ra các lực lớn hơn các ứng suất biến dạng dẫn đến các gradient áp lực nhỏ hơn các gradient xác định từ tỷ trọng. Để tính toán chính xác với các số liệu đo thực tế, các gradient của các dòng chảy vữa cần được xét đến trong các tính toán đẩy trôi. Theo nghiên cứu của Talmon và Bezuijen (2005), gradient áp lực vữa được xác định như sau:

$$a = \frac{dP}{dz} = \rho_{gr}g - 2 \frac{\tau_\gamma}{d_{gr}} \quad (6)$$



Hình 4. Nghiên cứu về áp lực vữa dọc theo máy đào hầm của Talmon và Bezuijen (2005)



a) phần trên hầm
b) phần dưới hầm
Hình 5. Mô hình phân tích đẩy trôi với áp lực dung dịch có gradient theo phương thẳng đứng a .

Trong đó: ρ_{gr} là tỷ trọng riêng của vữa, g là gia tốc trọng trường, τ_γ là sức kháng cắt của vữa và d_{gr} là chiều dày khoảng trống giữa hầm và đất xung quanh.

Vũ Minh Ngạn và nnk (2016) đã đề xuất mô hình tính toán đẩy trôi có kể đến gradient áp lực

thẳng đứng a như trên hình 5. Trên hình 5a, áp lực dung dịch s tại phần trên mặt cắt ngang hầm phân bố theo công thức sau:

$$s = s_{0,t} + aR\cos\varphi \quad (7)$$

trong đó $s_{0,t}$ là giá trị áp lực dung dịch tại đỉnh nóc hầm.

Phân tích trạng thái cân bằng khi hiện tượng đẩy nổi xảy ra, áp lực dung dịch lớn nhất tại đỉnh nóc hầm có giá trị xác định theo công thức sau:

$$s_{0,t,max} = \gamma \left(H - \frac{\pi}{8} D \right) + 2 \frac{H}{D} (c + HK_y \gamma \tan\varphi) - \frac{aD}{4} \quad (8)$$

Áp lực chống tại phần dưới hầm trong hình 5b phân bố theo công thức sau:

$$s = s_{0,b} - aR\cos\varphi \quad (9)$$

Với $s_{0,b}$ là giá trị áp lực dung dịch tại đáy mặt cắt hầm tại gương hầm.

Áp lực dung dịch lớn nhất tại đáy mặt cắt hầm có giá trị xác định theo công thức sau:

$$s_{0,b,max} = \gamma \left(H - \frac{\pi}{8} D \right) + 2 \frac{H}{D} (c + HK_y \gamma \tan\varphi) + \gamma_T \pi d + \frac{aD}{4} \quad (10)$$

Áp dụng các công thức 8 và 10, ta có áp lực chống lớn nhất trong trường hợp áp lực dung dịch phân bố tuyến tính. Thông thường, các giá trị khối lượng riêng của bê tông vỏ hầm $\gamma_T = 24 \text{ kN/m}^3$ và gradient áp lực thẳng đứng của dung dịch $a = 7 \text{ kPa/m}$.

3. Phân tích ổn định thi công tuyến tàu điện ngầm số 1 - TP. Hồ Chí Minh

Dự án đường sắt đô thị tuyến Metro số 1 - TP. Hồ Chí Minh từ ga Bến Thành đi công viên Suối Tiên có tổng chiều dài là 19,7km, trong đó có 17,1km đi trên cao và 2,6km đi ngầm qua khu vực trung tâm thành phố với tổng mức đầu tư dự án gần 44 nghìn tỷ đồng. Tuyến metro số 1 có tổng số 14 ga trong đó có 3 ga ngầm và 11 ga trên cao. Thời gian dự kiến hoàn thành công trình đưa vào khai thác vào năm 2022.

Đoạn tuyến đi ngầm được thi công qua khu vực có địa chất đất yếu của TP. Hồ Chí Minh. Điều này là thách thức lớn về giữ ổn định trong quá trình thi công vì tuyến hầm phía tây được thiết kế nằm khá gần mặt đất. Hơn nữa, tuyến hầm nằm dưới khu dân cư đông đúc, nhiều công trình lịch sử văn hóa trên bề mặt và gần kề một số công trình quan trọng của thành phố. Do vậy, các yêu cầu của dự án về biến dạng cho phép của các công trình này hết sức ngặt nghèo và nhà thầu phải đảm bảo quá trình thi công hầm luôn ổn định cũng như giảm thiểu tối đa các ảnh hưởng của quá trình thi công đến các công trình lân cận. Bảng 1 nêu thông số địa chất dự án tuyến Metro số 1 Bến Thành - Suối Tiên, TP. Hồ Chí Minh và hình 6 mô tả phân bố các lớp đất dọc một phần đoạn tuyến hầm. Khi hầm nằm trong khu vực lớp bùn sét mềm Alluvium 2 và lớp cát lẫn bùn Alluvium 1 với chiều dày tầng đất phủ trên hầm nhỏ, quá trình thi công hầm có thể xuất hiện một số vấn đề về ổn định mặt gương đào do sự chênh lệch giữa áp lực dung dịch nhỏ nhất và áp lực dung dịch lớn nhất rất nhỏ, rất dễ xảy ra hiện tượng đẩy trôi. Độ lún trên mặt đất khi đó có thể rất lớn và gây ảnh hưởng đến các công trình lân cận.

Bảng 1. Thông số địa chất dự án Metro số 1 Bến Thành - Suối Tiên, TP. Hồ Chí Minh

Tên lớp	Trọng lượng riêng (kN/m^3)	Lực dính đơn vị c (kN/m^2)	Góc ma sát trong (độ)	Hệ số áp lực tĩnh K
Lớp bồi đắp	19	10	25	0.5
Lớp bùn sét mềm Alluvium 2	16.5	0	24	0.5
Lớp cát lẫn bùn Alluvium 1	20.5	0	30	0.5
Lớp cát Alluvium 2	20.5	0	33	0.5

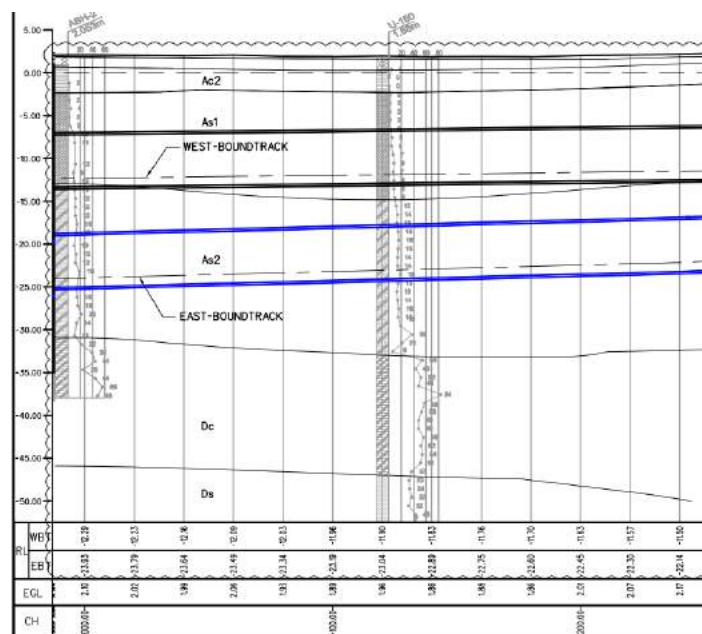
Đoạn tuyến hầm từ Km1+000 đến Km1+100 được xét đến trong nghiên cứu này nhằm phân tích và so sánh áp lực dung dịch sử dụng tại mặt gương đào trong thực tế tại máy thi công hầm TBM và trong tính toán ổn định trong khi thi công hầm. Áp lực dung dịch được tính toán tại 6 mặt cắt với khoảng cách các mặt cắt cách nhau 20m. Lý trình các mặt cắt như trên hình 6.

Số liệu áp lực dung dịch tại mặt cắt ngang gương đào của máy đào hầm TBM đo đạc tại hiện trường được thể hiện như trên bảng 2.

Bảng 2. Áp lực dung dịch tính toán và sử dụng tại hiện trường

Lý trình	Áp lực dung dịch (kPa)			
	Hiện trường	Tính toán		
		S_{min}	S_{max}	S_{op}
Km1+000	195	113	259	163
Km1+020	175	112	260	162
Km1+040	175	111	259	161
Km1+060	190	111	259	161
Km1+080	250	109	254	159
Km1+100	240	109	249	159

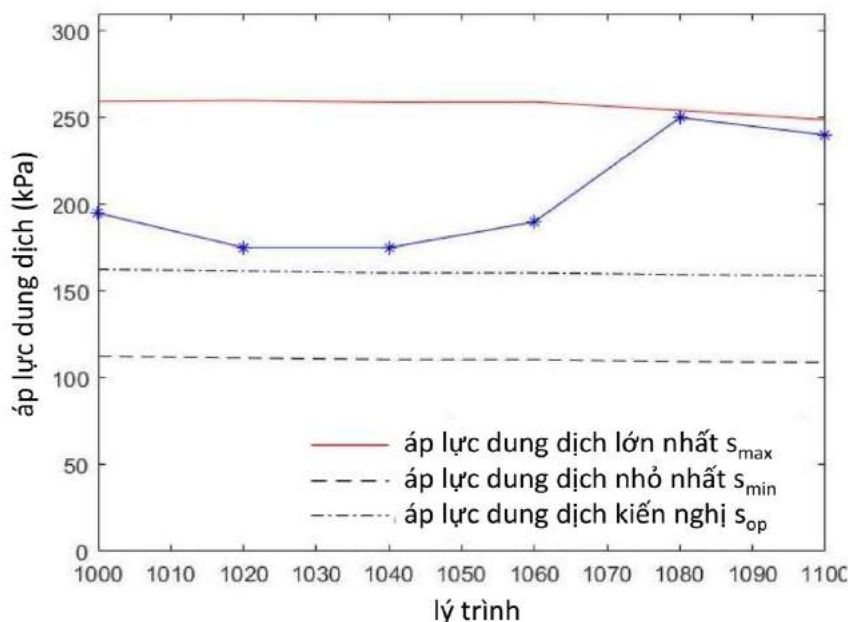
Áp lực dung dịch nhỏ nhất S_{min} được xác định theo phương pháp tính toán của Jancsecz, S., & Steiner, W. (1994) như trên hình 1 và các công thức 1, 2, 3. Áp lực dung dịch lớn nhất được tính toán theo giới hạn trên khi xảy ra hiện tượng đẩy trôi với mô hình phân tích như hình 5.



Hình 6. Phân bố các lớp đất tại một đoạn tuyến trên tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh

Kết quả tính toán áp lực tại các lý trình được thể hiện trong bảng 2. Trong đó, áp lực kiến nghị sử dụng được tính bằng: $S_{op} = S_{min} + 50\text{kPa}$.

Các kết quả tính toán áp lực cho phân đoạn 100m từ lý trình Km1+000 đến lý trình Km1+1100 và các áp lực đo đạc tại thực tế hiện trường sử dụng tại gương đào được thể hiện như trên hình 7. So sánh các kết quả tính toán và tại hiện trường cho thấy, áp lực dung dịch sử dụng tại hiện trường rất gần với giới hạn trên có thể gây hiện tượng đẩy trôi. Thực tế hiện tượng đẩy trôi xuất hiện tại dự án xảy ra vào ngày 23/4/2018, tại vị trí lý trình Km1+500 khi thi công tuyến hầm phía Tây, lúc này độ sâu tim hầm ở -11.67m.



Hình 7. Phân tích áp lực dung dịch tại gương đào từ Km1+000 đến Km1+1100



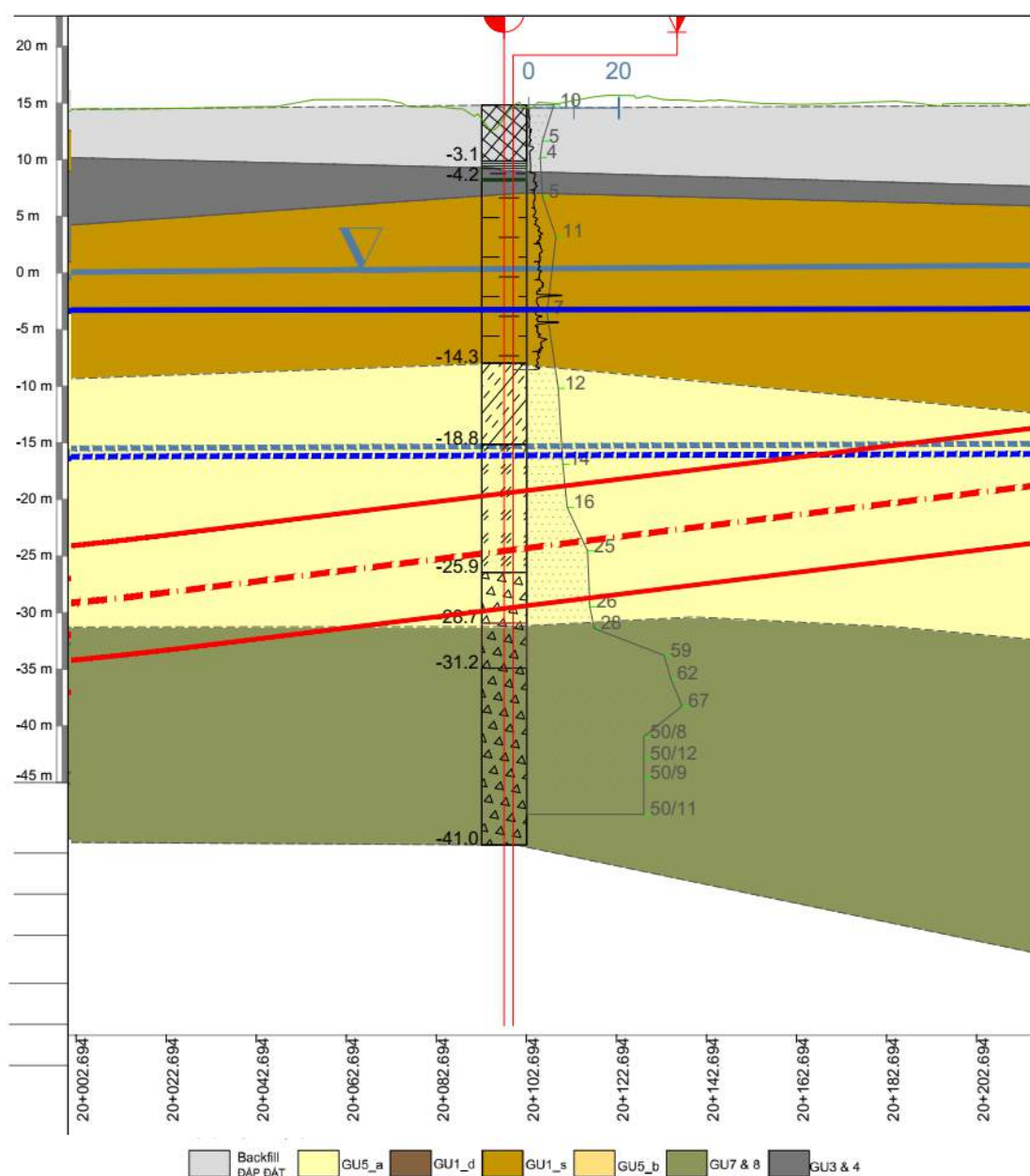
Hình 8. Đẩy trôi tại Km1+500 dự án tuyến tàu điện ngầm số 1 TP. Hồ Chí Minh

Hình 8 mô tả dung dịch phun trên mặt đường khi hiện tượng đẩy trôi xảy ra. Lúc này dung dịch thoát ra là dung dịch polymer. Áp lực dung dịch tại mặt gương đào đo được trên máy đào hầm TBM có giá trị 380kPa. Kết quả phân tích trong Vũ Minh Ngạn (2019) cho thấy áp lực tính toán theo mô hình đẩy trôi trong trường hợp này là 406kPa, chỉ sai khác so với kết quả tính toán là 7%.

4. Phân tích ổn định thi công tuyến tàu điện ngầm số 3 Hà Nội

Tuyến tàu điện ngầm số 3 Nhổn - Ga Hà Nội đang được xây dựng là một phần của hệ thống mạng lưới Đường sắt đô thị Hà Nội. Tuyến có tổng chiều dài là 12,5km, trong đó 8,5km trên cao từ Nhổn đi Kim Mã và 4km đi ngầm từ Kim Mã đi Ga Hà Nội. Tuyến bao gồm 12 ga với 8 ga trên cao (Nhổn, Minh Khai, Phú Diễn, Cầu Diễn, Lê Đức Thọ, Đại học Quốc gia Hà Nội, Chùa Hà, Cầu Giấy) và 4 ga ngầm (Kim Mã, Cát Linh, Văn Miếu, Ga Hà Nội). Tuyến tàu điện ngầm số 3 bắt đầu khởi công xây dựng từ năm 2010 và dự kiến hoàn thành và đưa vào khai thác từ năm 2022. Dựa vào các số liệu khảo sát địa chất của dự án, đặc điểm địa chất khu vực đoạn đi ngầm của tuyến Metro số 3 Hà Nội bao gồm các lớp địa chất như sau:

- Tầng đất trên cùng là lớp đất lấp;
- Phía dưới là lớp đất GU1 (bao gồm GU2, GU3, GU4) ở độ sâu từ 4m đến 24m dưới mặt đất với độ dày của lớp này thay đổi từ 10m đến 19m. Tầng này chủ yếu được tạo bởi lớp địa chất GU1 (sét nghèo - CL), nhiều thấu kính cát của các lớp địa chất công trình GU2, GU3, GU4 và đất hữu cơ nằm trong GU1, có nguồn gốc từ sự tạo thành địa chất của tầng Hải Hưng (Q1-2IV hh) và tầng Thái Bình (Q3IV tb).
- Lớp đất GU5 (đất bột đến cát sét) nằm ở độ sâu từ 12m đến 32m dưới mặt đất với độ dày thay đổi từ 8m đến 20m, gồm nhiều thấu kính cát của cát cấp phối thô (GU6), có nguồn gốc từ sự hình thành địa chất tầng Vĩnh Phúc (QIII vp).
- Lớp đất GU7 nằm ở độ sâu từ 26m đến 45m dưới mặt đất với độ dày thay đổi từ 8m đến 14m, bao gồm cát cấp phối tốt và vừa đến cát thô với sỏi cuội từ nhỏ đến vừa (SW-GM-GC), có sự hình thành địa chất của Hà Nội (QII-III hn).



Hình 9. Điều kiện địa chất tuyến hầm metro số 3 Hà Nội từ Km20+022 đến Km20+202

Bảng 3. Thông số địa chất dự án Metro số 3 Nhỏn - Ga Hà Nội

Lớp đất	Dung trọng riêng (kN/m ³)	Góc ma sát trong (độ)	Lực dính đơn vị c (kN/m ²)	Hệ số K
Đất lấp	19	-	-	-
GU1_s	18.5	25	10	0.58
GU3&4	16	20	5	0.66
GU5_a	20	34	0	0.44
GU5_b	20.5	35	0	0.43
GU7&8	21	40	0	0.36

Bảng 3 mô tả một số chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất mà tuyến hầm đi qua.

Hình 9 và bảng 4 mô tả các đặc trưng tuyến bao gồm trắc dọc và địa chất dọc đoạn tuyến 200m từ Km20+022 đến Km20+202. Đường hầm được thiết kế nằm ở độ sâu từ 19m cho đến 23m so với mặt đất.

Do phần tuyến đi ngầm dự án hiện chưa tiến hành thi công nên nghiên cứu chỉ dừng lại ở việc xác định các giá trị giới hạn trên và dưới theo đặc điểm tuyến hầm và điều kiện địa chất.

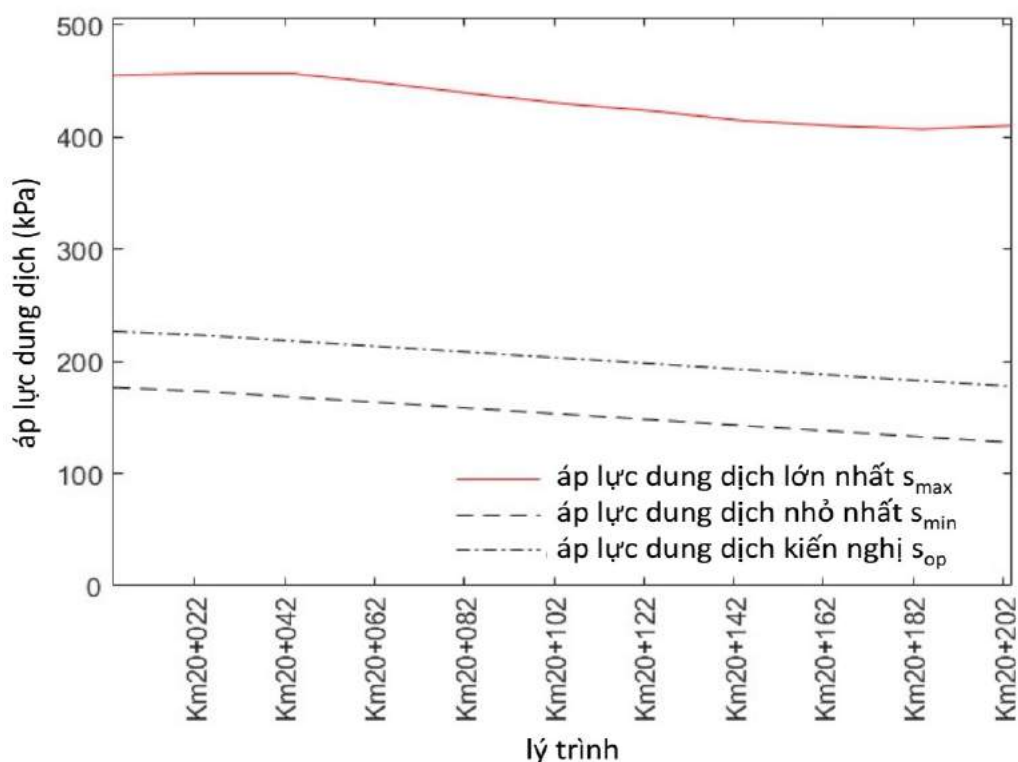
Bảng 4. Đặc trưng đoạn tuyến metro số 3 Hà Nội từ Km20+022 đến Km20+202

Lý trình	Độ sâu tìm hầm (m)	Chiều dày các lớp đất (m)			
		Đắp	GU3&4	GU1s	GU5a
Km20+022	23,245	1,481	12,763	1,807	7,194
Km20+042	22,937	1,370	11,000	3,170	7,397
Km20+062	22,372	1,043	9,279	4,573	7,477
Km20+082	21,977	0,972	8,802	4,668	7,535
Km20+102	21,537	1,150	8,243	5,010	7,134
Km20+122	21,085	1,330	7,746	5,490	6,519
Km20+142	20,373	1,232	6,871	6,349	5,921
Km20+162	19,879	1,390	6,423	6,780	5,286
Km20+182	19,469	1,612	5,802	7,385	4,670
Km20+202	18,867	1,575	4,971	8,199	4,122

Tương tự phân tích giới hạn trên và dưới tính toán áp lực dung dịch lớn nhất và áp lực dung dịch nhỏ nhất như với trường hợp tuyến Metroline số 1 TP Hồ Chí Minh, kết quả phân tích áp lực dung dịch tại mặt gương đào thể hiện trên bảng 5 và hình 10. Hình 10 thể hiện biểu đồ áp lực dung dịch tại mặt gương dọc tuyến hầm.

Bảng 5. Kết quả tính toán áp lực áp lực dung dịch tại mặt gương đào đoạn tuyến metro số 3 Hà Nội từ Km12+022 đến Km12+202

Lý trình	Áp lực dung dịch tính toán		
	S _{min}	S _{max}	S _{op}
Km12+022	177	455	227
Km12+042	173	457	223
Km12+062	168	457	218
Km12+082	163	448	213
Km12+102	158	439	208
Km12+122	153	430	203
Km12+142	148	423	198
Km12+162	143	415	193
Km12+182	138	410	188
Km12+202	133	407	183



Hình 10. Áp lực dung dịch tính toán cho thi công hầm đoạn tuyến metro số 3 Hà Nội từ Km12+022 đến Km 12+202

Từ kết quả phân tích trên, ta thấy khoảng cách giữa áp lực dung dịch tính toán theo giới hạn trên và giới hạn dưới là lớn, điều này có nghĩa là với đoạn tuyến 200m từ Km12+022 đến Km 12+202, thi công hầm TBM là khá an toàn về mặt ổn định.

5. Kết luận

Xây dựng các công trình tàu điện ngầm metro là một giải pháp tất yếu nhằm giải quyết các vấn đề giao thông đô thị cấp bách hiện nay ở Việt Nam đồng thời thúc đẩy phát triển kinh tế. Xây dựng hệ thống tàu điện ngầm tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh phải đối mặt với các khó khăn về điều kiện địa chất đất yếu và nguy cơ ảnh hưởng đến các công trình quan trọng trên bề mặt. Nội dung bài báo trình bày các lý thuyết xác định độ ổn định khi thi công hầm trong điều kiện địa chất đất yếu tại hai thành phố này, qua đó xác định dải áp lực dung dịch tại gương đào cần thiết nhằm giữ ổn định khi thi công hầm. Nghiên cứu cho thấy áp lực dung dịch tính toán từ các mô hình ổn định cho kết quả phù hợp với áp lực dung dịch thực tế sử dụng tại dự án tàu điện ngầm số 1 TP. Hồ Chí Minh tuy có những thời điểm áp lực dung dịch thực tế thi công lân cận áp lực dung dịch lớn nhất tính toán. So sánh áp lực trong trường hợp đầy trời tại tuyến tây dự án tàu điện ngầm số 1, TP. Hồ Chí Minh cho thấy sự phù hợp của kết quả tính toán và thực tế thi công. Kết quả phân tích áp lực dung dịch cần thiết tại dự án tàu điện ngầm số 3 Hà Nội cho thấy sự chênh lệch lớn giữa áp lực dung dịch nhỏ nhất cần thiết và áp lực dung dịch lớn nhất. Do đó, với độ sâu thiết kế hầm lớn, thi công hầm tại dự án tàu điện ngầm số 3 Hà Nội được dự báo an toàn hơn so với dự án tàu điện ngầm số 1 TP. Hồ Chí Minh về vấn đề ổn định.

Tài liệu tham khảo

- Anagnostou, G. and Kovári, K., 1994. The face stability of slurry-shield-driven tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 9(2):165-174.
- Balthaus, H., 1991. Tunnel face stability in slurry shield tunnelling. *Proceeding 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Rio de Janeiro, 13-18 August 1989 V2, P775-778, volume 28, page A391. Pergamon.
- Bezuijen, A. and Talmon, A., 2008. Processes around a TBM. *Proceedings of the 6th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground (IS-Shanghai 2008)*, 10-12.
- Broere, W., 2001. Tunnel Face Stability & New CPT Applications. *PhD thesis*, Delft University of Technology.
- Jancsecz, S. and Steiner, W., 1994. Face support for a large mix-shield in heterogeneous ground conditions. *The 7th International Symposium Tunnelling*, 5-7 July 1994, London.
- Horn, N., 1961. Horizontal earth pressure on the vertical surfaces of the tunnel tubes. In: *National Conference of the Hungarian Civil Engineering Industry*, Budapest, 7-16.
- Vu, m. N., Broere, W., and Bosch, J. W. , 2015. The impact of shallow cover on stability when tunnelling in soft soils. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 50:507-515.
- Vu, m. N., Broere, W., and Bosch, J. W., 2016. New blow-out models for shallow tunnelling in soft soils. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development - Geotec Hanoi 2016*, Phung (edt).
- Vũ Minh Ngan, 2019. Sự cố đẩy trôi khi thi công công trình ngầm và phân tích cho sự cố tại Dự án tuyến tàu điện ngầm số 1 TP. Hồ Chí Minh. *Công nghiệp Mỏ*, 05:30-35.

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021

Biên tập nội dung: PGS.TS. Bùi Trường Sơn - ThS. Nguyễn Văn Hùng

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Chịu trách nhiệm xuất bản
GIÁM ĐỐC - TỔNG BIÊN TẬP
BÙI MINH CƯỜNG

Chịu trách nhiệm nội dung
TS. NGUYỄN HUY TIẾN

Biên tập - Sửa bản in: NGUYỄN THỊ LƯƠNG
Thiết kế bìa: ĐẶNG NGUYỄN VŨ
Chế bản: PHAN HUYỀN KIM

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo - Hoàn Kiếm - Hà Nội
ĐT: 024 3942 4543; Fax: 024 3822 0658
Email: nxbkhkt@hn.vnn.vn
Website: <http://www.nxbkhkt.com.vn>

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

28 Đồng Khởi - Quận 1 - TP. Hồ Chí Minh
ĐT: 028 3822 5062

In 100 bản, khổ 20.5×29 cm, tại Công ty phát triển dịch vụ Minh Vương
Địa chỉ: C13, khu 2,5ha, tổ 18, P. Dịch Vọng Hậu, Q. Cầu Giấy, TP. Hà Nội.
Số xác nhận đăng ký xuất bản: **1448-2022/CXBIPH/7-64/KHKT**.
Quyết định xuất bản số: **72/QĐ-NXBKHKT**.
In xong và nộp lưu chiểu năm 2022. **Mã ISBN: 978-604-67-2296-0**

**ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG
PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN**



ISBN: 978-604-67-2296-0



9 786046 722960

SÁCH KHÔNG BÁN